

Bogumiła Wnukowska

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Witelona w Legnicy
Wydział Nauk Technicznych i Ekonomicznych
e-mail: bogumila.wnukowska@wp.pl

Katarzyna Karbowa

Politechnika Wrocławska
Wydział Elektryczny
e-mail: katarzyna.karbowa@pwr.edu.pl

Dobór gazowych silników kogeneracyjnych z wykorzystaniem metod optymalizacji wielokryterialnej

STRESZCZENIE

Gazowe silniki kogeneracyjne znajdują zastosowanie w układach kogeneracyjnych (CHP – ang. *Combined Heat and Power*), które charakteryzują się skojarzonym wytwarzaniem dwóch rodzajów energii np. elektrycznej i ciepła. Wytwarzanie energii w skojarzeniu pozwala na oszczędność blisko 37% energii pierwotnej względem produkcji rozdzielonej. Do zalet układów kogeneracyjnych zalicza się dodatkowo stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne, ograniczenie emisji substancji szkodliwych dla środowiska oraz zmniejszenie strat związanych z przesyłaniem energii na duże odległości, ponieważ kogeneracja należy do zbioru źródeł rozproszonych. Walory ekonomiczne i ekologiczne, a dodatkowo wysoka sprawność wytwarzania w skojarzeniu powoduje, że kogeneracja jest stosowana na zachodzie Europy u takich odbiorców jak: elektrociepłownie, szpitale, obiekty oświaty, biurowce, hotele, ośrodki sportowe, osiedla mieszkaniowe, oczyszczalnie ścieków, kopalnie oraz w zakładach przemysłowych branży spożywczej i chemicznej. Dobór jednostki skojarzonego wytwarzania energii jest zadaniem złożonym z uwagi na występujące zmienne zapotrzebowanie na ciepło (w szczególności w elektrociepłowniach zawodowych). Dodatkowo do podstawowych parametrów technicznych jednostek CHP decydujących o wyborze zaliczyć można sprawność zależną od chwilowej mocy cieplnej i elektrycznej, której wartość rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem mocy cieplnej i elektrycznej. W pracy przeanalizowano wpływ kryterium maksymalnego zysku, minimalnej emisji substancji szkodliwych dla środowiska oraz prostego czasu zwrotu na dobór jednostki skojarzonego wytwarzania energii przy wykorzystaniu metod SMART i SAW – będących narzędziem optymalizacji wielokryterialnej.

Słowa kluczowe: dobór, energia, emisja, kogeneracja, paliwo, wytwarzanie.

Wytwarzanie w skojarzeniu

Kogeneracja (CHP – ang. *Combined Heat and Power*) to skojarzone wytwarzanie dwóch rodzajów energii pozwalające zaoszczędzić blisko 37% energii chemicznej paliwa dostarczonej do procesu termodynamicznej zamiany na energię użyteczną w porównaniu do energetyki konwencjonalnej. Poza oszczędnością paliwa pierwotnego – kogeneracja charakteryzuje ograniczenie emisji substancji szkodliwych do otoczenia w porównaniu do energetyki konwencjonalnej. Porównanie emitowanych substancji w zależności od stosowanego paliwa przedstawiono w tabeli 1.

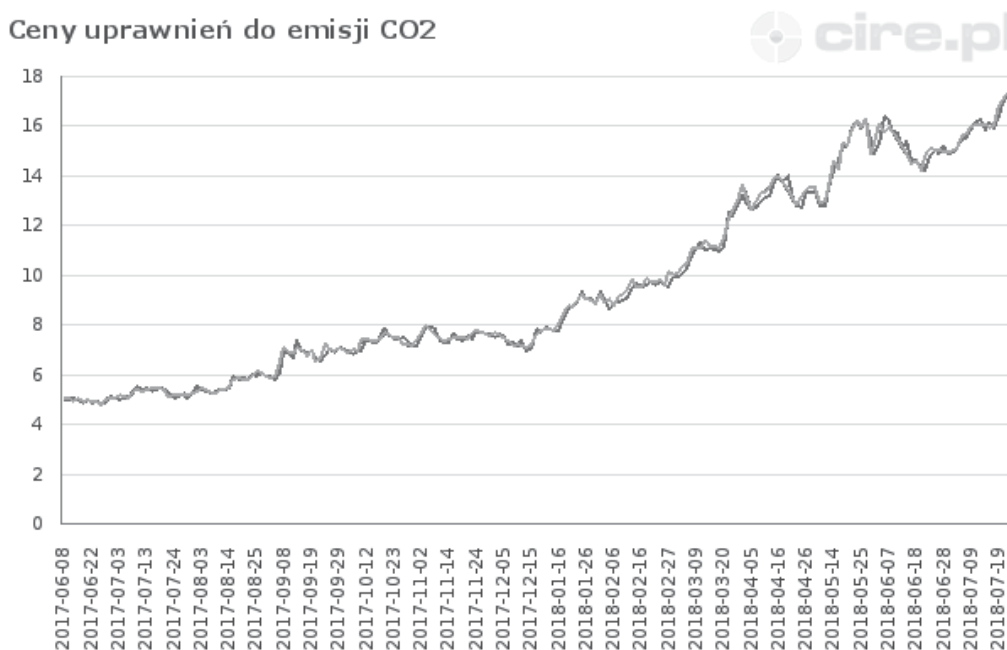
Tabela 1. Emisja substancji szkodliwych dla środowiska dla wybranych paliw

Emitowana substancja	Wielkość emisji (g/GJ)		
	Węgiel kamienny	Węgiel brunatny	Gaz ziemny
CO ₂	94 600	101 000	56 100
SO ₂	765	1361	0.68
NO ₂	292	183	98.3
CO	89.1	89.1	14.5
Cząstki stałe	1203	3254	0.1
Łączna objętość gazów spalinowych (m ³ /GJ)	360	444	272

Źródło: *Wskaźniki emisji zanieczyszczeń*, KOBIZE, Warszawa 2015, s. 5, https://krajowabaza.kobize.pl/docs/male_kotly, dostęp: 2.08.2018 r.

Wielkość emisji ma obecnie znaczący wpływ na koszty wytwarzania, a w konsekwencji na ceny energii elektrycznej w Polsce, gdzie energetyka opiera się w ponad 70% na węglu. Z analizy cen uprawnień do emisji w okresie od lipca 2017 do lipca 2018 roku wynika, że cena uprawnień do emisji tony dwutlenku węgla wzrosła niemal czterokrotnie z 4,5€ do rekordowej wartości 17,44€, co przedstawiono na rysunku 1.

Dalszy wzrost ceny uprawnień do emisji według prognoz spowoduje wzrost ceny 1 MWh energii elektrycznej nawet o 20% do 2020 roku. Biorąc pod uwagę konieczność modernizacji blisko 50% obecnych mocy wytwórczych, rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepło, aspekt ochrony środowiska i ceny energii – zasadną staje się dyskusja dotycząca alternatywnych źródeł wytwarzania.

Rysunek 1. Ceny uprawnień do emisji CO₂ (€/tona CO₂) [2]

Źródło: *Ceny uprawnień do emisji CO₂*, Centrum Informacji o Rynku Energii, 2018, <https://handel-emisjami-co2.cire.pl/>, dostęp: 31.07.2018 r.

Dobór jednostki CHP

Modernizacja istniejących instalacji wytwarzania ciepła poprzez zabudowę agregatu wymaga odpowiedniego doboru jednostki CHP, co jest zadaniem złożonym, ponieważ zależy głównie od zapotrzebowania na moc cieplną oraz czasu tego zapotrzebowania. Prognozowane zapotrzebowanie na energię termiczną zależy od rodzaju instalacji. W przypadku miejskich ciepłowni zapotrzebowanie na ciepło zmienia się nieliniowo w zależności od temperatury zewnętrznej – wówczas dobór jednostki CHP oparty jest na zgromadzonych danych z okresu dotychczasowej eksploatacji obiektu przy uwzględnieniu planowanej rozbudowy sieci i możliwego wzrostu zapotrzebowania na energię termiczną. Kolejnym aspektem determinującym dobór jednostki jest uwzględnienie spadku sprawności jednostki CHP wraz ze zmniejszeniem mocy chwilowej agregatu. Dobór agregatu dla zakładów przemysłowych opiera się głównie na planach produkcyjnych i może być realizowany przy określeniu jednego z kryteriów oceny¹ $F = \{f_1, \dots, f_n\}$ np.:

- maksymalnego zysku w okresie eksploatacji $\max(Z_{T_m})$ [zł],
- minimalnej emisji substancji szkodliwych do otoczenia $\min(Em_m)$ [Mg],
- minimalnego prostego czasu zwrotu SPB [msc], spośród występujących wariantów decyzyjnych $A = \{a^1, \dots, a^m\}$.

Poza prognozowanym zapotrzebowaniem na ciepło q_i należy również określić zapotrzebowanie na moc elektryczną N_{di} w okresach czasu t_i , ponieważ poza oszczędnością dotych-

¹ J. Skolarek, J. Kalina, *Optymalizacja doboru mocy rozproszonych źródeł kogeneracyjnych*, Zakład Termodynamiki i Energetyki Gazowej, Instytut Techniki Ciepłej, Gliwice 2004.

czas kupowanego paliwa, zysk ze sprzedaży energii elektrycznej oraz żółtych certyfikatów kształtuje wynik finansowy przedsięwzięcia.

Z uwagi na złożoność problemu doboru jednostki CHP spełniającego wyżej wymienione kryteria oceny oraz występujące ograniczenia jednostek CHP – stworzono program doboru jednostki przy wykorzystaniu metod wielokryterialnego wspomagania decyzji.

W celu weryfikacji zasadności stosowania układów CHP wykonano obliczenia na przykładzie zakładu energetyki ciepłej zaopatrującego w ciepło odbiorców komunalno-bytowych. W tabeli 2 przedstawiono prognozowane zapotrzebowanie analizowanego obiektu na moc cieplną q_i [kW] i elektryczną N_{di} [kW] w okresach t_i [h] w skali jednego roku.

Tabela 2. Prognozowane średnie wartości zapotrzebowanej mocy cieplnej i elektrycznej w okresie jednego roku

i	t_i	q_i	N_{di}
	[h]	[kW]	[kW]
1	744	18 981,52	198,67
2	672	18 786,76	199,79
3	744	15 407,51	180,80
4	720	12 425,35	167,27
5	744	6 964,68	119,87
6	720	3 107,29	69,95
7	744	4 145,95	61,91
8	744	2 849,58	63,03
9	720	4 117,38	74,12
10	744	12 994,69	157,72
11	720	14 922,69	184,61
12	744	15 929,37	205,42

Źródło: opracowanie własne.

Z powodu nieliniowej charakterystyki zapotrzebowania na moc cieplną oraz różnicy między maksymalnym i minimalnym zapotrzebowaniem – dobrana jednostka CHP będzie pracowała we współpracy z istniejącym kotłem lub będzie zastępowana gdy $q_i \leq 0,5 * N_{elN}$. Do obliczeń przyjęto liczbę wariantów znamionowej mocy cieplnej odpowiadającej różnicy między maksymalnym a minimalnym zapotrzebowaniem na moc cieplną q_i . Wraz ze zmianą mocy znamionowej jednostki CHP zmienia się wartość zysku Z_T oraz wielkość emisji zmodernizowanej instalacji E_m .

W algorytmie obliczeniowym celem wyznaczenia wartości poszczególnych kryteriów zastosowano następujące wzory:

- wartość zysku Z_T :

$$Z_T = \sum_{j=1}^N \{t_i [(N_{di} * c_{j_{zel}}) + (N_{els} * c_{j_{sel}}) + (N_{elCHP} * c_{j_{zc}}) + (q_i * c_{j_{pk}})] - \left[\frac{N_{elCHP}}{\eta_{elCHP}} * c_{j_{gCHP}} + KsCHP - KeK \right] \} - Inv \quad (1)$$

$$Inv = (-137 * \ln N_{elN} + 1968) * k_d * N_{elN} \quad (2)$$

gdzie:

- N – czas eksploatacji w latach;
- t_i – okres czasu w ciągu roku [h];
- N_{di} – zapotrzebowanie na moc elektryczną w okresie czasu t_i [kW];
- cj_{zel} – cena jednostkowa zakupu energii elektrycznej [zł/kWh];
- N_{els} – moc elektryczna odprowadzona do sieci zewnętrznej w czasie t_i [kW];
- cj_{sel} – cena jednostkowa sprzedanej energii elektrycznej do sieci [zł/kWh];
- N_{elCHP} – moc elektryczna jednostki CHP pracującej w czasie t_i [kW];
- cj_{zc} – cena jednostkowa żółtego certyfikatu za wyprodukowaną energię elektryczną w kogeneracji [zł/kWh];
- q_i – zapotrzebowanie na moc ciepłą w czasie t_i zapewniane dotychczas przez kocioł węglowy [kW];
- cj_{pk} – cena jednostkowa pracy kotła węglowego [zł/kWh];
- η_{eCHP} – sprawność elektryczna jednostki CHP [%];
- cj_{gCHP} – cena jednostkowa godziny pracy układu CHP [zł/h];
- K_{sCHP} – koszt serwisu układu CHP [zł];
- K_{eK} – koszt korzystania ze środowiska podczas pracy kotła węglowego [zł];
- Inv – koszt instalacji CHP o znamionowej mocy elektrycznej N_{elN} [zł];
- K_d – kurs dolara [zł].

- Wartość emisji substancji szkodliwych dla środowiska E_T :

$$(3) \quad E_T = \sum_{j=1}^N (t_i * P_{elCHP} * cj_{eCHP}) + \sum_{j=1}^N (q_i * cj_{eK} * t_i)$$

gdzie:

- N – czas eksploatacji w latach;
- t_i – okres czasu w ciągu roku [h];
- P_{elCHP} – moc elektryczna jednostki CHP pracującej w czasie t_i [kW];
- cj_{eCHP} – cena jednostkowa emisji układu CHP [zł/kWh];
- q_i – zapotrzebowanie na moc ciepłą w czasie t_i zapewniane dotychczas przez kocioł węglowy [kW];
- cj_{eCHP} – cena jednostkowa emisji układu CHP pracującego w czasie t_i [zł/kWh];
- cj_{eK} – cena jednostkowa emisji kotła pracującego w czasie t_i [zł/kWh];

- Długość prostego czasu zwrotu SPB :

$$SPB = \sum_{j=1}^N CF_j - Inv \quad (4)$$

gdzie:

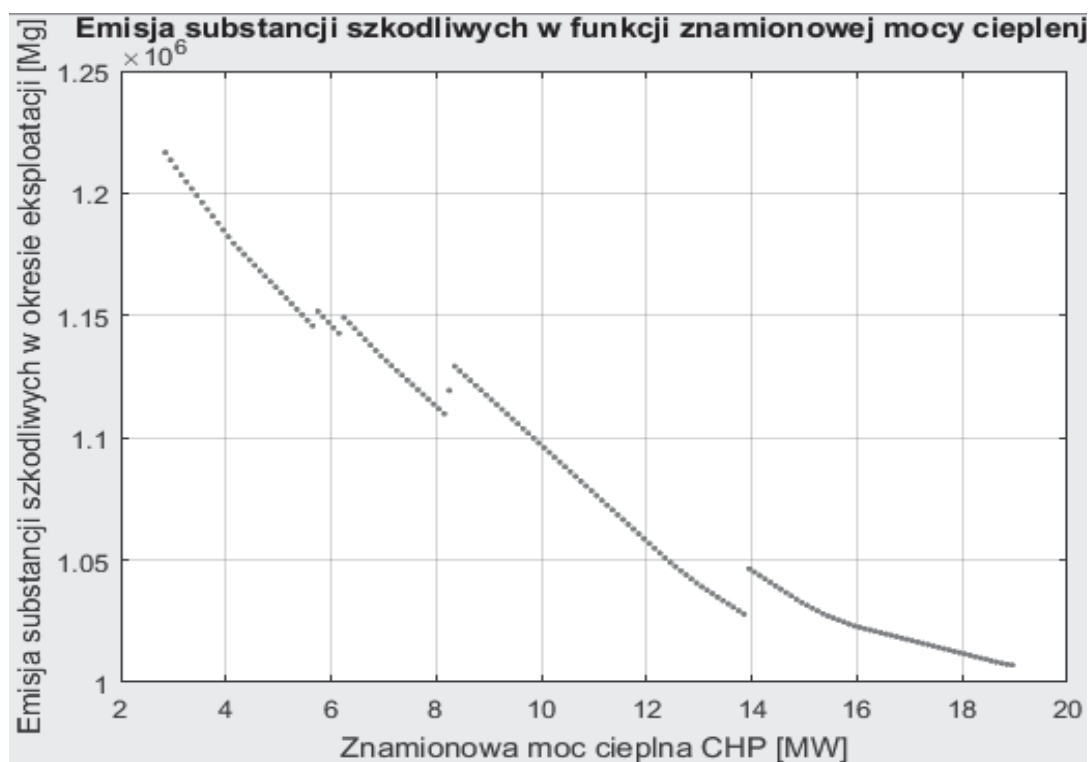
- CF_j – przepływy pieniężne na koniec każdego roku [zł];
- Inv – nakłady inwestycyjne [zł].

Wykresy $Z_T = f(Q_N)$, $E_T = f(Q_N)$ oraz $SPB = f(Q_N)$ w zadanym okresie eksploatacji przedstawiono na rysunkach nr 2, 3 i 4.



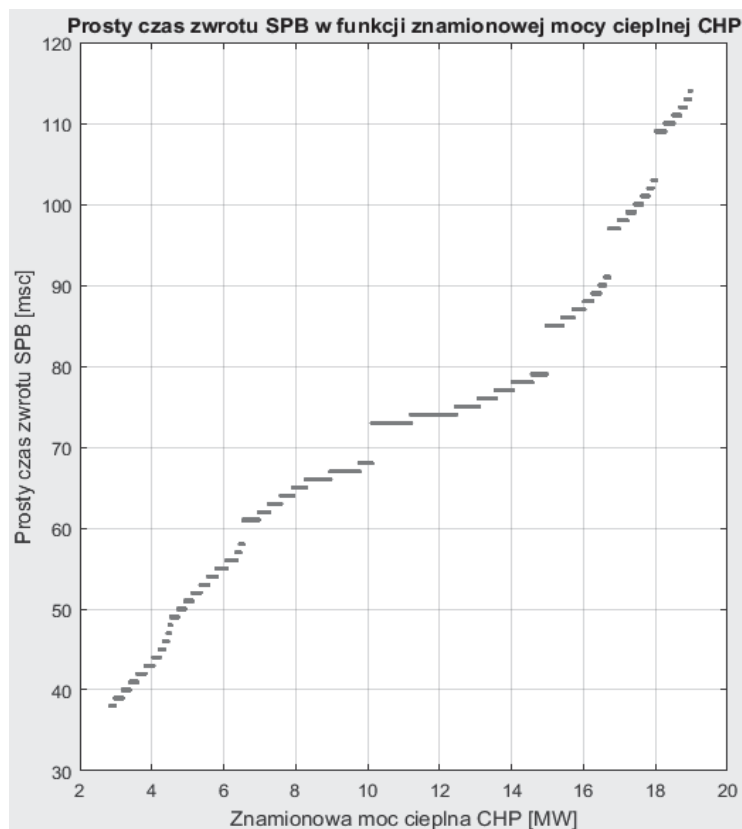
Rys. 2 Wykres $Z_T = f(Q_N)$

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3 Wykres $E_m = f(Q_N)$

Źródło: opracowanie własne.

Rys. 4 Wykres $SPB = f(Q_N)$

Źródło: opracowanie własne.

Wspomaganie decyzji wielokryterialnych

W przypadku istnienia wielu kryteriów oceny podczas wyboru wariantu spośród zbioru wariantów A oraz w przypadku braku praktycznej możliwości znalezienia rozwiązania spełniającego wszystkie występujące kryteria, czyli rozwiązania dominującego – podjęcie decyzji może być rezultatem zastosowania MCDA przy skorzystaniu z tzw. rodziny modeli preferencji, np. modeli wykorzystujących funkcję użyteczności, porównywanie parami, relację przewyższania, punkty odniesienia itd. Dotychczas opracowano wiele metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, które są rozwijane i znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach nauki, jak np. ekonomia, energetyka. Do najbardziej znanych i najczęściej stosowanych metod MCDA zalicza się: SAW, SMART, AHP i ANP, REMBRANDT, MACBETH, ZAPROS, rodziny metod ELECTRE, PROMETHEE, TOPSIS, VIKOR i BIPOLAR. Przykładem problemu decyzyjnego spośród wielu wariantów i przy uwzględnieniu kilku kryteriów jest np. dobór jednostki skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła dla modernizowanego zakładu przemysłowego, ciepłowni wytwarzających ciepło przy użyciu kotłów węglowych opalanych węglem kamiennym². W celu prezentacji wpływu stosowanej metody optymalizacji wielokryterialnej na znamionową moc elektryczną jednostki CHP w referacie porównano metody SAW oraz SMART.

² T. Trzaskalik, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, PWE, Warszawa 2014.

Metoda sumy ważonej

Metoda sumy ważonej SAW (ang. *Simply Additive Weighting Method*)³ wspomaga wybór wariantu ze zbioru A przy uwzględnieniu zbioru kryteriów F i zadanego wektora wag $w = [w_1, \dots, w_n]$, gdzie:

$$(5) \quad \sum_{k=1}^n w_k = 1$$

W pierwszym kroku metody obliczono elementy macierzy znormalizowanych ocen $R = [r_{ik}]$ ($i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n$) dla każdego z wariantów przy uwzględnieniu zadanych kryteriów ($n=3$). Ocena wariantów dla kryterium maksymalnego zysku (Z_T) wyrażona jest wzorem:

$$(6) \quad r_{i1} = \frac{f_k(a^i)}{\max_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l)}$$

Ocena wariantów dla kryterium minimalnej emisji substancji szkodliwych (E_m) określona jest wzorem:

$$(7) \quad r_{i2} = \frac{\min_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l)}{f_k(a^i)}$$

Ocena wariantów dla kryterium minimalnego czasu zwrotu (SPB) określona jest wzorem:

$$(8) \quad r_{i3} = \frac{\min_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l)}{f_k(a^i)}$$

W drugim kroku metody SAW kryteriom Z_T , E_m oraz SPB przypisano wartości wag poszczególnego kryterium, a następnie obliczono wartość użyteczności p_i :

$$(9) \quad p_i = \sum_{k=1}^n w_k * r_{ik}$$

Metoda SMART

Stosowanie metody SMART zakłada jednoczesne spełnienie następujących założeń⁴:

- o przechodniości preferencji,
- o sumowaniu preferencji,
- o rozwiązywalności,
- o jasno wyrażonych preferencjach decydenta.

³ Ibidem.

⁴ Ibidem.

Rozpatrzono zbiór wariantów decyzyjnych A i zbiór kryteriów oceny F. W pierwszym kroku metody SMART ustalono oceny wariantów decyzyjnych poprzez unitaryzację, następnie warianty oceniono w skali od 0 do 100. Ocena wariantów dla kryterium maksymalnego zysku wyrażona jest wzorem:

$$(10) \quad u_{i1} = \frac{f_k(a^i) - \min_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l)}{\max_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l) - \min_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l)} * 100$$

Ocena wariantów dla kryterium minimalnej emisji substancji szkodliwych określona jest wzorem:

$$(11) \quad u_{i2} = \frac{\min_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l) - f_k(a^i)}{\min_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l) - \max_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l)} * 100$$

Ocena wariantów dla kryterium minimalnego prostego czasu zwrotu *SPB* określona jest wzorem:

$$(12) \quad u_{i3} = \frac{\min_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l) - f_k(a^i)}{\min_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l) - \max_{1 \leq l \leq m} f_k(a^l)} * 100$$

W drugim kroku metody SMART kryteriom Z_T, E_m oraz *SPB* przypisano wartości wag, a następnie obliczono wartość użyteczności dla każdego z wariantów zbioru A. W końcowym etapie algorytmu obliczono oceny końcowe dla każdego z wariantów:

$$(13) \quad U(a^i) = \sum_{k=1}^n w_k * u_{ik}$$

Wykorzystując stworzony program doboru jednostki CHP przy uwzględnieniu okresu eksploatacji równego $N=15$ lat, metod SAW i SMART oraz wyżej wymienionych założeń obliczono: znamionową moc cieplną jednostki CHP (Q_N), zysk w okresie eksploatacji (Z_T), emisję układu w okresie eksploatacji (E_m), możliwe ograniczenie emisji w okresie eksploatacji (ΔE_m)⁵. W celu zbadania wpływu wartości wektora w zmieniono wagi kryteriów w_1 (zysku) i w_2 (emisji). Wagi dla poszczególnych kryteriów mogą się zmieniać w zależności od regulacji prawnych w sektorze energetyki. Powodem zwiększenia wagi dla kryterium emisji mogą być rosnące stawki jednostkowe opłat za emisję substancji szkodliwych albo wprowadzenie dodatkowego wsparcia finansowego dla instalacji ograniczających emisję⁶. Otrzymane wyniki zestawiono w tabelach nr 3 i 4.

⁵ J. Skolarek, J. Kalina, *Gazowe układy kogeneracyjne*, WNT, Warszawa 2005, s. 249–250; A. Rozmarynowski, J. Wojciechowski, *Kogeneracja – dobór układów CHP*, „Logistyka” 2011, nr 6.

⁶ G. Góral, *Optymalny dobór układu kogeneracyjnego źródeł energii (CHP) dla określonego typu obiektu*, 2004, http://elektroenergetyka.pl/upload/file/2004/7/elektroenergetyka_nr_04_07_1, dostęp: 15.07.2018 r.

Tabela 3. Wyniki programu doboru jednostki CHP (metoda SAW)

Lp.	w_1	w_2	w_3	Q_N	Z_T	E_m	SPB	ΔE_m
	[-]	[-]	[-]	[MW]	[mln zł]	[x10 ⁵ Mg]	[msc]	[x10 ⁵ Mg]
1	0,5	0,5	0	12,995	34,33	10,40	75	2,0585
2	0,5	0	0,5	2,977	28,28	12,13	38	0,7544
3	0	0,5	0,5	2,977	28,28	12,13	38	0,7544
4	0,34	0,33	0,33	2,977	28,28	12,13	38	0,7544
5	0,5	0,25	0,25	4,045	30,21	11,82	43	0,9834
6	0,25	0,5	0,25	2,977	28,28	12,13	38	0,7544
7	0,25	0,25	0,5	2,977	28,28	12,13	38	0,7544

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Wyniki programu doboru jednostki CHP (metoda SMART)

Lp.	w_1	w_2	w_3	Q_N	Z_T	E_m	SPB	ΔE_m
	[-]	[-]	[-]	[MW]	[mln zł]	[x10 ⁵ Mg]	[msc]	[x10 ⁵ Mg]
1.	0,5	0,5	0	12,995	34,33	10,40	75	2,0585
2.	0,5	0	0,5	4,045	30,21	11,82	43	0,9834
3.	0	0,5	0,5	13,929	33,25	10,27	77	2,1568
4.	0,34	0,33	0,33	12,995	34,33	10,40	75	2,0585
5.	0,5	0,25	0,25	12,995	34,33	10,40	75	2,0585
6.	0,25	0,5	0,25	13,929	33,25	10,27	77	2,1568
7.	0,27	0,27	0,55	4,045	30,21	11,82	43	0,9834

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie i wnioski

Analizując aktualne zainteresowanie tematyką ograniczenia emisji substancji szkodliwych do środowiska w sektorze energetyki, konieczność modernizacji źródeł wytwórczych z 70. lat XX wieku oraz dalszy prognozowany wzrost stawek jednostkowych opłat za korzystanie ze środowiska – należy poddać głębokiej refleksji rozpowszechnienie kogeneracji jako źródła skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła oraz dobór jednostki CHP z uwzględnieniem maksymalnej redukcji emisji substancji szkodliwych do środowiska⁷.

Z uwagi na brak praktycznej możliwości znalezienia rozwiązania zdominowanego, czyli uwzględniającego jednocześnie maksymalny możliwy do osiągnięcia zysk przy minimalnej emisji oraz minimalnym prostym czasie zwrotu – zagadnienie doboru jednostki CHP wymaga zastosowania np. MCDA. W referacie zostało to omówione na przykładzie zakładu energetyki ciepłej zaopatrującego odbiorców komunalno-bytowych. Otrzymane wyniki w tabelach nr 3

⁷ P. Pałaszynski, *Wykorzystanie ciepła z chłodzenia silnika gazowego*, „Czysta Energia”2013, nr 3, s. 38–40.

i 4 podkreślają znaczenie przypisywania wag dla poszczególnych kryteriów oraz zwracają zasadność na rodzaj wykorzystywanej metody. Stosowanie metody SAW wymaga od decydenta jednoznacznego wskazania wag dla poszczególnych kryteriów, podczas gdy metoda SMART określa wagi za pomocą wskazanych przez decydenta relacji między występującymi kryteriami, co znajduje zastosowanie w przypadku występowania kryterium jakościowego. Reasumując, stosowanie metody SMART, z uwagi na wprowadzone oceny w skali od 0 do 100 skutkuje – w przypadku doboru jednostki CHP – gorszymi wynikami w porównaniu do metody SAW, co potwierdzają wyniki badań przedstawione w tabeli nr 4, gdy $w_2=0,5$, $w_3=0,5$. W przypadku metody SMART program doboru jednostki CHP wskazuje na zastosowanie silnika gazowego o znamionowej mocy cieplnej prawie pięciokrotnie większej niż w przypadku metody SAW, co wiąże się z wyższymi nakładami finansowymi. Dodatkowo emisja układu E_m w okresie eksploatacji zostaje ograniczona o 15% przy jednoczesnym wydłużeniu czasu zwrotu inwestycji z 38 do 77 miesięcy w porównaniu do zastosowania metody SAW przy tych samych wagach poszczególnych kryteriów.

Bibliografia

- Ceny uprawnień do emisji CO₂*, Centrum Informacji o Rynku Energii, 2018, <https://handel-emisjami-co2.cire.pl/>, dostęp: 31.07.2018 r.
- Góral G., *Optymalny dobór układu kogeneracyjnego źródeł energii (CHP) dla określonego typu obiektu*, 2004, http://elektroenergetyka.pl/upload/file/2004/7/elektroenergetyka_nr_04_07_1, dostęp: 15.07.2018 r.
- Pałaszynski P., *Wykorzystanie ciepła z chłodzenia silnika gazowego*, „Czysta Energia” 2013, nr 3.
- Rozmarynowski A., Wojciechowski J., *Kogeneracja – dobór układów CHP*, „Logistyka” 2011, nr 6.
- Skolarek J., Kalina J., *Gazowe układy kogeneracyjne*, WNT, Warszawa 2005.
- Skolarek J., Kalina J., *Optymalizacja doboru mocy rozproszonych źródeł kogeneracyjnych*, Zakład Termodynamiki i Energetyki Gazowej, Instytut Techniki Ciepłej, Gliwice 2004.
- Trzaskalik T., *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, PWE, Warszawa 2014.
- Wskaźniki emisji zanieczyszczeń*, KOBIZE, Warszawa 2015, s. 5, https://krajowabaza.kobize.pl/docs/male_kotly, dostęp: 2.08.2018 r.

SUMMARY

Bogumiła Wnukowska, Katarzyna Karbowa

Selection of gas cogeneration engines with the use of multi-criteria optimization methods

Gas cogeneration engines are used in CHP (Combined Heat and Power) systems, which are characterized by the combined production of two types of energy, e.g. electricity and heat. Combined energy generation saves about 37% of primary energy relative

to distributed production. the advantages of cogeneration systems also include relatively low capital expenditures, reduction of emissions of harmful substances to the environment and reduction of losses associated with transmission of energy over long distances, because cogeneration belongs to the set of dispersed sources. Economic and ecological values, as well as high efficiency of co-generation means that cogeneration is applied in Western Europe to recipients such as: CHP plants, hospitals, educational facilities, office buildings, hotels, sports centers, housing estates, sewage treatment plants, mines and industrial food and chemical industry. the selection of a combined power generation unit is a task made up of variable heat demand (in particular in combined heat and power plants). in addition to the basic technical parameters of CHP units that decide on the selection, one can include efficiency depending on the instant thermal and electric power, the value of which increases exponentially with the increase of thermal and electrical power. This paper analyzes the impact of the criteria of maximum profit, minimum emission of harmful substances for the environment and simple time of return on the selection of the associated unit of power generation using the SMART and SAW methods - a multi-criteria optimization tool.

Key words: choice, energy, emission, cogeneration, fuel, production.

Data wpływu artykułu: 6.12.2018 r.

Data akceptacji artykułu: 18.01.2019 r.